

## PENGARUH KONSENTRASI Li YANG DI-DOPING KE DALAM KATALIS MgO TERHADAP REAKSI TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT

**Frisda Panjaitan, Renita Manurung, Sriwil P. Damanik,  
dan Sartika M. S. Simamora**

Laboratorium Oleokimia, Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS)  
Jl. Brigjend Katamso, Medan  
e-mail: tikacu36@gmail.com

### Abstrak

*Proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis heterogen telah banyak dikaji untuk menggantikan peranan katalis KOH dan NaOH. Pendopongan ion litium ( $\text{Li}^+$ ) ke dalam oksida logam mampu meningkatkan aktivitas katalis heterogen dalam reaksi transesterifikasi. Penelitian ini dilakukan untuk memberikan informasi mengenai pengaruh konsentrasi ion  $\text{Li}^+$  yang didoping ke dalam magnesium oksida (MgO) terhadap reaksi transesterifikasi minyak sawit dengan kadar asam lemak bebas (ALB) yang tinggi menjadi metil ester, pada temperatur  $120^\circ\text{C}$ , rasio metanol: minyak = 12:1, jumlah katalis 2,5 %, putaran 800 rpm, selama 2,5 jam, menggunakan reaktor bertekanan. Variabel penelitian adalah konsentrasi Li yang didoping ke dalam MgO, yaitu 2 %, 4 %, 6 %, 8 %, 10 %. Adapun parameter uji yang dilakukan adalah kandungan metil ester yang diperoleh dari hasil reaksi transesterifikasi dengan analisa Gas Chromatographi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi Li yang di-doping pada MgO paling optimum adalah 4 %, dengan hasil 84,9808 % metil ester.*

**Kata Kunci :** transesterifikasi, minyak sawit, katalis heterogen, litium, magnesium oksida, metil ester.

### 1. PENDAHULUAN

Saat ini pengembangan biofuel dari minyak nabati sedang diminati karena ketersediaan bahan bakar berbasis minyak bumi yang semakin sedikit. Salah satu jenis biofuel dari minyak nabati adalah biodiesel metil ester. Proses produksi biodiesel metil ester dari minyak nabati telah digunakan industri kimia sejak beberapa puluh tahun yang lalu. Dan metode produksi biodiesel terus dikembangkan dalam upaya untuk meningkatkan konversi minyak nabati menjadi metil ester. Proses yang paling efektif adalah transesterifikasi trigliserida dengan alkohol berantai pendek seperti metanol dan etanol, menjadi metil ester dan etil ester. Reaksi ini akan berjalan dengan baik dengan kehadiran katalis. Transesterifikasi tanpa katalis memerlukan temperatur yang sangat tinggi untuk mendapatkan konversi yang maksimum (Bunyakiat, dkk., tanpa tahun).

Katalis yang umum digunakan untuk reaksi transesterifikasi adalah katalis basa homogen yakni kalium hidroksida (KOH) atau natrium hidroksida (NaOH). Adapun katalis yang bersifat homogen ini sukar dipisahkan dari produk dan sisa reaktannya, sehingga memerlukan pencucian yang banyak dan tidak dapat dipergunakan kembali. Di samping itu, katalis basa bekerja dengan baik pada batas asam lemak bebas (ALB)  $<0,5$  %. Jika bahan baku mengandung ALB tinggi, akan terjadinya reaksi antara katalis dengan asam lemak bebas membentuk sabun (Shu, dkk., 2010).

Salah satu bahan baku yang sedang dikembangkan untuk produksi biodiesel adalah minyak sawit. Di Indonesia peluang ini cukup menjanjikan karena sejak tahun 2009, Indonesia merupakan penghasil minyak sawit terbesar di dunia. Secara umum, transesterifikasi yang dilakukan adalah menggunakan minyak sawit ataupun minyak nabati dari sumber lain yang telah dirafinasi dan difraksinasi, yang memiliki ALB rendah.

Untuk efisiensi biaya bahan baku, perlu diupayakan solusi efisiensi produksi metil ester sampai batas toleransi ALB yang masih efektif pada reaksi transesterifikasi minyak sawit berkualitas rendah dengan ALB  $> 3,5$  %. Upaya yang mulai dikembangkan adalah proses transesterifikasi dengan menggunakan katalis heterogen, seperti zeolit, oksida-oksida logam alkali tanah, *hydrotalcites* dan sebagainya. Menurut Meher, dkk., 2006, jumlah ALB sampai 5,75 % tidak terlalu mempengaruhi aktivitas katalis heterogen Li/CaO pada

reaksi transesterifikasi, dimana konversi metil ester hanya menurun dari 94,9-90,3% ketika kandungan ALB meningkat dari 0,48-5,75 %. Dalam hal ini akan dikaji mengenai performa katalis heterogen yang dihasilkan melalui pengikatan litium dalam suatu pendukung katalis (*catalyst support*) yaitu magnesium oksida terhadap reaksi transesterifikasi dengan bahan baku *low grade oil* yakni minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil*) yang memiliki kadar ALB tinggi.

## 2. METODE PENELITIAN

### a. Preparasi Katalis

LiOH dilarutkan di dalam 100 ml aquadest dan diimpregnasi 25 g MgO ke dalam larutan LiOH selama 2 jam dan diaduk dengan magnetik stirer pada kecepatan 300 rpm. Lalu campuran dikeringkan pada oven 120°C selama 12 jam. Hasil pengeringan dikalsinasi di dalam *furnace* pada temperatur 500 °C selama 4 jam.

### b. Preparasi Sampel

Bahan baku yang digunakan dalam percobaan transesterifikasi adalah minyak sawit mentah (CPO) yang diperoleh dari pabrik minyak sawit lokal. Minyak yang digunakan perlu ditentukan terlebih dahulu kadar air, bilangan asam dan bilangan penyabunannya. Kadar air diuji dengan metoda gravimetri pada suhu 110°C (AOCS CA 2C 25 1989). Pengujian bilangan asam dan bilangan penyabunan masing-masing mengikuti prosedur dari Metode AOCS CA 5A 40 1991 dan Metode AOCS CD 35.

### c. Reaksi Transesterifikasi

Reaksi transesterifikasi dilaksanakan dalam sebuah reaktor batch bertekanan, dengan kapasitas 1 liter. Reaksi transesterifikasi dilakukan pada temperatur 120°C, rasio metanol: minyak = 12:1, % katalis 2,5 %, tekanan 12-15 barr selama 2,5 jam. Hasil metil ester dianalisa dengan menggunakan kromatografi gas (Shimadzu GC 148 dengan detector FID, jenis kolom DB-HT: 15 m x 0,25 mm ID, tebal fil 0,1 µmeter, carier gas: Helium, flushing gas Nitrogen, temperatur oven 50°C, temperatur injektor dan detektor 400°C. Untuk mengubah gliserol menjadi senyawa yang lebih volatil, sama dengan volatilitas mono dan digliserida, senyawa N-meti-N-trimetilsilil-trifluorasetamida (MSTFA) ditambahkan untuk silasi grup gugus hidroksil bebas senyawa tersebut. Analisa berlangsung pada kolom kapiler tinggi dan non polar. Internal standar yang digunakan adalah 1,2,3 trikaprogliserol (tricaprin) untuk penentuan senyawa gliserida.

Analisa penyabunan akan menjadi indikator kualitas produk ester, sehingga dilakukan analisa bilangan penyabunan metil ester hasil transesterifikasi dengan Metode AOCS CD 35.

## 3. HASIL DAN DISKUSI

### a. Pengaruh Konsentrasi Ion Li yang di-doping ke Dalam MgO terhadap Kandungan Metil Ester

Penggandengan ion Li ke dalam katalis MgO bertujuan untuk meningkatkan reaksi pembentukan metil ester dari minyak sawit mentah (CPO) *low grade* dengan kadar ALB 4,19 %. Dalam penelitian ini juga telah dilakukan reaksi transesterifikasi menggunakan katalis MgO yang dikalsinasi pada temperatur 500°C. Pembentukan metil ester yang diperoleh adalah 58,6528% dengan kadar total gliserida yang belum bereaksi sebesar 29,9201 %.

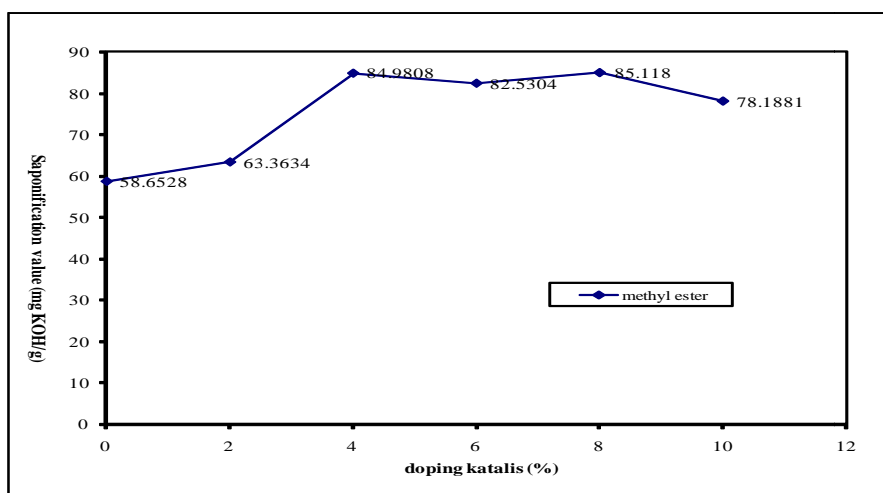
Hasil analisa menggunakan gas kromatografi menunjukkan kandungan metil ester yang terbentuk meningkat dengan adanya *doping* ion Li ke dalam katalis MgO (Gambar 3.1). Penggandengan Li ke dalam katalis MgO dapat meningkatkan kekuatan basa dari katalis MgO, seperti halnya dengan CaO (Watkins, dkk., 2004). Menurut Li, dkk., 2011, aktifitas katalisasi dalam transesterifikasi sebanding dengan kekuatan basa katalis. Semakin tinggi tingkat kebasaaan katalis, maka semakin tinggi konversi reaksi transesterifikasi.

Peningkatan pembentukan ester naik dari loading 2 % sampai pada penggunaan katalis MgO dengan *doping* Li sebesar 8%, yaitu 63,3634 % sampai 85,1180 %. Peningkatan kandungan ester yang terbentuk secara drastis terjadi setelah penggunaan katalis MgO yang di-*doping* Li sebesar 4%, yakni mencapai 44,89% dari penggunaan katalis yang tidak menggunakan *doping* Li dan cenderung tidak berubah secara signifikan sampai *loading* Li 8%, yaitu mencapai 45,12 %. Akan tetapi kandungan ester menjadi menurun menjadi 78.181 % setelah penggunaan katalis MgO *doping* Li sebesar 10%.

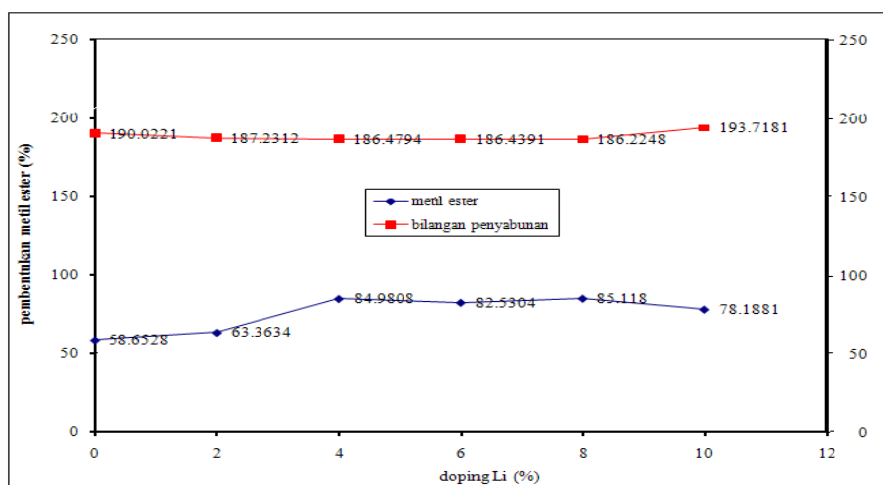
Penurunan pembentukan ester pada penggunaan katalis MgO *doping* Li sebesar 10% didekati dengan pengukuran terhadap reaksi-reaksi bersaing lain (Sharma dan Singh, 2008). Analisa penyabunan akan menjadi indikator bahwa di dalam produk ester yang dihasilkan masih mengandung gliserida dan asam lemak

bebas (Kristensen, 2005). Senyawa gliserida dan asam lemak yang ada di dalam ester dimungkinkan sebagai gliserida yang tidak habis bereaksi pada *stepwise* reaksi transesterifikasi (Freedman, dkk., 1986) atau hasil hidrolisis gliserida dan produk ester (Sharma dan Singh, 2008).

Besar bilangan penyabunan (Gambar 3.2) cenderung menurun dari konsentrasi Li yang di-*doping* 0 % sampai 8 %. Nilai penyabunan meningkat pada penggunaan katalis dengan 10 % *doping* Li. Diduga, tingginya bilangan penyabunan pada penggunaan konsentrasi Li pada reaksi ini karena hidrolisis produk metil ester. Hal ini dapat dijelaskan dari bilangan penyabunan awal bahan baku adalah 192,82 mg KOH/g. Besaran ini adalah nilai dari penyabunan gliserida dan asam lemak bebas yang ada pada bahan baku. Bertambahnya nilai bilangan penyabunan sampai 193,718 mg KOH/g, diduga ada hidrolisis senyawa metil ester yang menghasilkan asam lemak gliserida, karena jumlah *loading* Li yang berlebih ke dalam MgO, memicu terjadinya reaksi hidrolisis. Di samping itu, dengan jumlah *loading* yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan penurunan aktifitas *supported catalyst* terhadap reaksi transesterifikasi. Hal ini diduga karena tertutupnya situs permukaan dasar katalis oleh Li yang berlebihan, dimana situs ini tidak dapat dimasuki oleh reaktan sehingga aktivitas katalis menurun (Li, dkk., 2011, Istandi, dkk., 2010).



Gambar 1. Grafik Pengaruh % *Loading* Li terhadap Pembentukan Metil Ester



Gambar 2. Grafik Pengaruh % *Loading* Li terhadap Bilangan

Penyabunan dan Pembentukan Metil Ester

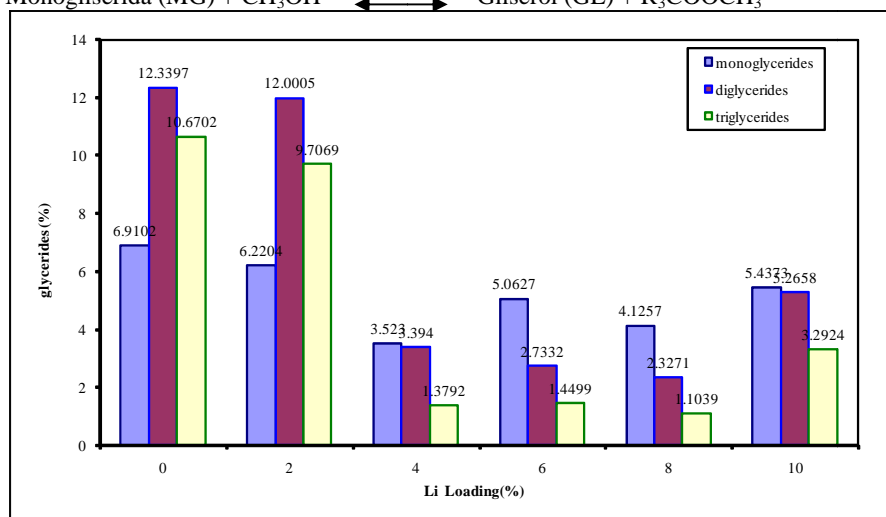
**b. Penentuan Penggunaan *Doping* Katalis yang Paling Optimum**

Penentuan penggunaan katalis optimum didekati dari hasil analisa komponen gliserida produk metil ester. Umumnya, reaksi transesterifikasi CPO dengan metanol menghasilkan ester asam lemak, yaitu metil ester dan gliserol dengan monogliserida dan digliserida sebagai produk antara. Reaksi transesterifikasi secara ideal berjalan secara konsekutif yaitu trigliserida menjadi digliserida, selanjutnya digliserida menjadi monogliserida dan akhirnya monogliserida menjadi ester (Freedman, dkk., 1986).

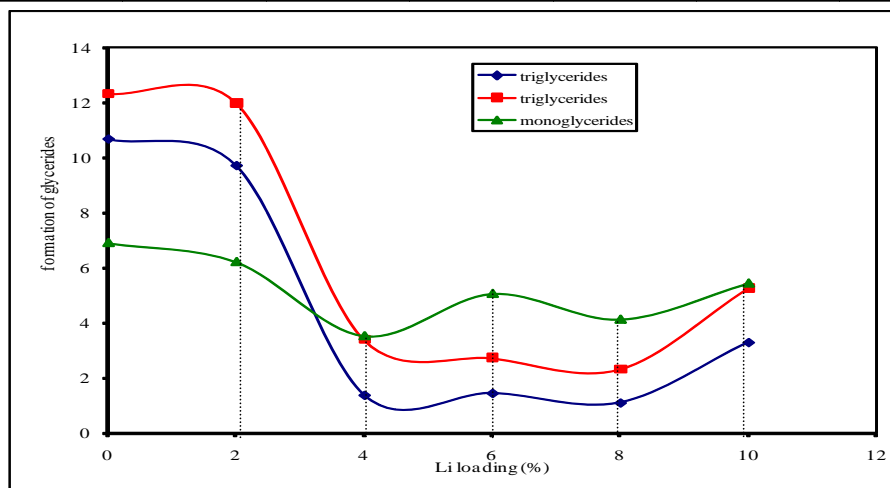
Penggunaan katalis MgO yang di-*doping* Li 0%, menunjukkan komposisi gliserida yang jauh lebih tinggi dibanding dengan penggunaan konsentrasi *doping* Li yang lain. Konsentrasi akhir komponen gliserida pada penggunaan *doping* Li 0% adalah trigliserida (10,6702%), digliserida (12,3397%) dan monogliserida (6,9102%). Dari data ini dapat disimpulkan bahwa reaksi belum cukup bergeser ke arah kanan bila hanya menggunakan katalis MgO. Diduga tingginya kadar asam lemak bebas menimbulkan reaksi bersaing penyabunan, sehingga katalis tidak cukup untuk ke arah reaksi transesterifikasi. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Darnoko dan Cheryan, 2000, dinyatakan bahwa penggunaan bahan baku dengan kadar asam lemak bebas di atas 1% menyebabkan meningkatnya hasil reaksi samping, yaitu reaksi penyabunan pada reaksi transesterifikasi oleh karena reaksi katalis basa yang lebih reaktif dengan asam lemak bebas dibandingkan gliserida.

Menurut Freedman, dkk., 1986, reaksi transesterifikasi sebenarnya berlangsung dalam 3 tahap reversibel berikut:

1. Triglycerida (TG) + CH<sub>3</sub>OH  $\xrightleftharpoons{\text{katalis}}$  Diglycerida (DG) + R<sub>1</sub>COOCH<sub>3</sub>
2. Diglycerida (DG) + CH<sub>3</sub>OH  $\xrightleftharpoons{\text{katalis}}$  Monoglycerida (MG) + R<sub>2</sub>COOCH<sub>3</sub>
3. Monoglycerida (MG) + CH<sub>3</sub>OH  $\xrightleftharpoons{\text{katalis}}$  Gliserol (GL) + R<sub>3</sub>COOCH<sub>3</sub>



Gambar 3. Komposisi Gliserida pada Berbagai Konsentrasi *Doping* Li



Gambar 4. Grafik Pengaruh % Loading Li terhadap Komposisi Gliserida

Noureddini dan Zhu, 1997, melakukan studi kinetika transesterifikasi minyak kedelai pada reaktor *batch*. Hasil studi tersebut menunjukkan tahap pembentukan konversi trigliserida menjadi digliserida merupakan tahap yang paling lambat dan penentu laju reaksi sedangkan tahap konversi monogliserida menjadi metil ester dari merupakan tahap yang paling cepat. Monogliserida merupakan senyawa yang paling tidak stabil diantaranya senyawa intermediet lainnya dan akan segera terkonversi menjadi gliserol dan metil ester karena konstanta laju reaksinya paling cepat. Hasil studi yang sama juga diperoleh oleh Darnoko dan Cheryan, 2000, yang melakukan studi kinetika transesterifikasi minyak kelapa sawit hasil studi tersebut menunjukkan tahap konversi trigliserida menjadi digliserida merupakan tahap penentu laju reaksi karena merupakan tahap paling lambat. Sedangkan Diasakou, dkk., 1998, yang melakukan transesterifikasi pada kondisi superkritik non-katalitik, tahap penentu laju reaksi adalah tahap konversi monogliserida menjadi metil ester, karena tahap ini merupakan tahap reaksi yang paling lambat dan tahap yang paling cepat adalah tahap konversi trigliserida menjadi digliserida. Hal ini karena reaksi perubahan monogliserida menjadi metil ester membutuhkan energi aktivasi yang lebih besar dari ketiga tahapan reaksi transesterifikasi. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh bahwa komponen monogliserida dan digliserida pada produk akhir masih tinggi, maka diduga penentu laju reaksi adalah tahap konversi monogliserida menjadi metil ester dan tahap paling cepat adalah konversi trigliserida menjadi digliserida.

Penggunaan katalis MgO yang di-*doping* Li pada 4% dan 8%, menunjukkan perubahan trigliserida menjadi digliserida, selanjutnya menjadi monogliserida lebih cepat dibanding konsentrasi *doping* Li pada 2%, 6% dan 10% (Gambar 4.5). Misalnya pada konsentrasi loading 2% Li tampak bahwa perubahan trigliserida menjadi digliserida masih lambat, dimana jumlah trigliserida yang belum terkonversi cukup besar yaitu 9,7069%. Sedangkan pada pen-*doping*-an 4%, 6% dan 8%, sisa trigliserida menurun. Kandungan trigliserida paling sedikit ditemukan pada hasil transesterifikasi katalis MgO dengan persen *loading* 8%. Dari data perubahan gliserida di atas, penggunaan katalis MgO yang di-*doping* Li pada 4% merupakan yang paling optimum untuk pembentukan metil ester menggunakan CPO dengan kadar asam lemak bebas 4,19%, karena perubahan yang ditunjukkan tidak terlalu signifikan seiring dengan penambahan loading Li yang lebih besar lagi.

#### 4. KESIMPULAN

Penggunaan ion Li ke dalam katalis MgO dapat meningkatkan reaksi pembentukan metil ester dari minyak sawit mentah (CPO) *low grade* dengan kadar ALB >3,5%. Adapun konsentrasi Li yang di-*doping* pada MgO paling optimum terhadap reaksi transesterifikasi CPO menjadi metil ester pada temperatur 120°C, rasio metanol: minyak = 12:1, jumlah katalis 2,5%, putaran 800 rpm, selama 2,5 jam adalah 4% berat, dengan hasil 84,9808% metil ester. Penurunan metil ester yang terbentuk dengan loading 10% Li pada katalis MgO diduga karena terjadinya hidrolisis produk metil ester dan penurunan aktifitas katalis oleh loading Li berlebih. Katalis Li/MgO memiliki potensi sebagai katalisator dalam reaksi transesterifikasi pembuatan ester.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arndt, Sebastian, Guillaume Laugel, Sergey Levchenko, Raimund Horn, Manfred Baerns, Matthias Scheer, Robert Schlogl, dan Reinhard Schomacker. 2011. *Li/MgO - The Drosophila Catalyst for Methane Oxidative Coupling, a Critical Assessment*. Preprint submitted to Catalysis Reviews Science and Engineering.
- Bunyakiat, Kunchana, Sukunya Makmee, Ruengwit Sawangkeaw, dan Somkiat Ngamprasertsith. Tanpa Tahun. *Continuous Production of Biodiesel via Transesterification from Vegetable Oils in Supercritical Methanol*. Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University : Bangkok. 15/04/11.
- Darnoko, D. dan Munir Cheryan. 2000. *Kinetics of Palm Oil Transesterification in Batch Reactor*. JAOCS. Vol. 77. No. 12. Hal. 1263-1267.
- Diasakou, M., Louloudi A., dan Papayannakos N. 1998. *Kinetics of The Non- Catalytic Transesterification of Soybean Oil*. Fuel. Vol. 77. No.12. Hal.-.
- Fei, Kian Yee dan Lee Keat Teong. 2008. *Palm Oil as Feedstocks for Biodiesel Production Via Heterogeneous Transesterification: Optimization Study*. INCV-2008. School of Engineering, Universiti Sains Malaysia: Malaysia.
- Freedman, Bernard, Royden O. Butterfield dan Everett H. Pryde. 1986. *Transesterification Kinetics of Soybean Oil*. JAOCS. Vol. 63. Hal. 1375-1380.
- Gotch, Albert J., Aaron Reeder dan Aleesha McCormik. 2008. *Study of Heterogeneous Base Catalysts for Biodiesel Production*. Journal of Undergraduate Chemistry Research. Vol. 4. Hal. 58-62.
- Hagen, Jens. 2006. *Industrial Catalyst*. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.: Jerman.
- Harahap, Hendar. 2008. *Tesis:Optimasi Transesterifikasi Refinery Bleached Deodorized Palm oil Menjadi metil ester Menggunakan Katalis Lithium Hidroksida*. Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Hendartomo, T. 2004. *Pemanfaatan Minyak dari Tumbuhan untuk Pembuatan Biodiesel*. Yogyakarta.
- Herawan, T. 2008. *Pengembangan Teknologi Biofuel dari Minyak Sawit*. PPKS. Medan.
- Herizal dan Rahman M. 2008. *Optimalisasi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit*. Lembaran Publikasi Lemigas. Vol. 43, No.3, Hal. 61-66.
- Istandi, I., B. Pramudono, S. Suherman, dan S. Pryanto. 2010. *Potential of  $\text{LiNO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  Catalyst for Heterogeneous Transesterification of Palm Oil to Biodiesel*. Bulletin of Chemical Reaction and Catalysis. Vol. 5 (1). Hal. 51-56.
- Kristensen, Henning G. 2005. *The Fifth Edition of the European Pharmacopoeia*.
- Lam, Man Kee, Keat Teong Lee dan Abdul Rahman Mohamed. 2010. *Homogenous, Heterogenous, and Enzymatic Catalysis for Transesterification of High Free Fatty Acid Oil (Waste Cooking Oil) to Biodiesel: A Review*. Biotechnology Advances Journal. Vol. 28. Hal. 500-518.
- Lee, Dae Won, Young Moo Park dan Kwan Young Lee. 2009. *Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis*. Catal Surv Asia. Vol. 13. Hal. 63-77.
- Li, Yihuai, Fengxian Qiu, Dongya Yang, Xiaohua Li dan Ping Sun. 2011. *Preparation, Characterization and Application of Heterogeneous Solid Base Catalyst for Biodiesel Production from Soybean Oil*. Biomass and Bioenergy. Vol. 35. Hal. 2787-2795.
- MacLeoda, Claire S., Adam P. Harvey, Adam F. Lee dan Karen Wilson, 2007. *Evaluation of the Activity and Stability of Alkali-Doped Metal Oxide Catalysts for Application to an Intensified Method of Biodiesel Production*. Chemical Engineering Journal. Vol. 135. Hal. 63-70.
- Manurung, Renita. 2006. *Transesterifikasi Minyak Nabati*. Jurnal Teknologi Proses. Vol. 5 (1). Hal. 47-42.
- \_\_\_\_\_. 2007. *Kinetika Transesterifikasi Minyak Sawit Menjadi Etil Ester (Biodiesel)*. Jurnal Teknologi Proses. Vol. 6 (1). Hal. 39-44.
- May, Choo Yuen dan Ab. Gapor Md. Top. 2000. *Minor Components from Palm Methyl Esters*. Palm oil Developments. Vol. 14. Hal. 39-44.
- Meher, Lekha Charan, Mangesh G. Kulkarni, Ajay K. Dalai dan Satya Narayan Naik. 2006. *Transesterification of Karanja (Pongamia pinnata) Oil by Solid Basic Catalysts*. Eur. J. Lipid Sci. Technol. No.108. Hal. 389-397.
- Noureddini, H. dan D. Zhu. 1997. *Kinetics of Transesterification of Soybean Oil*. IBID. Vol. 74. Hal. 1457-1463.
- Naik, S.N., L. C. Meher dan D. Vidya. 2006. *Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification- A Review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol.10. Hal. 248-268.
- O'Brien, R. D. 1998. *Fat and Oils: Formulating and Processing for Application*. Technomic Publishing Company, Inc. Pennsylvania.



- Puna J. F., J. F. Gomes, M. Joana N. Correia, A. P. Soares Dias dan J.C. Bordado. 2010. *Advances on the Development of Novel Heterogeneous Catalysts for Transesterification of Triglycerides in Biodiesel*. Fuel. Vol. 89. Hal. 3602-3606.
- Refaat, A. A. 2010. *Biodiesel Production Using Solid Metal Oxide Catalysts*. International Journal Environmental Science Technology. Vol. 8 (1). Hal 203-221.
- Sembiring, Riani S. 2009. *Transesterifikasi Heterogen Minyak Sawit Mentah dan Metanol Menggunakan Katalis Padat Kalsium Oksida*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara Medan: Medan.
- Sharma, Y.C. dan B. Singh. 2008. *Development of Biodiesel: Current Scenario. Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol.582. Hal. 1-6.
- Shu, Qing, Jixian Gao, Zeeshan Nawaz, Yuhui Liao, Dezheng Wang dan Jinfu Wang. 2010. *Synthesis of Biodiesel from Waste Vegetable Oil with Large Amounts of Free Fatty Acids using a Carbon-Based Solid Acid Catalyst*. Applied Energy. Vol. 87. Hal. 2589-2596.
- Soerawidjaja, T. 2006. *Fondasi-Fondasi Ilmiah dan Keteknikan dari Teknologi Pembuatan Biodiesel*. Handout Seminar Nasional “Biodiesel sebagai Energi Alternatif Masa Depan”. UGM Yogyakarta. 15 April 2006.
- Tambun, Rondang. 2006. *Buku Ajar Teknologi Oleokimia*. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Watkins, Robert S., Adam F. Lee, dan Karen Wilson, 2004. *Li-CaO Catalysed Tri-glyceride Transesterification for Biodiesel Application*. Green Chemistry. Vol 4. Hal. 335-340.
- Wen, Zhenzhong, Xinhai Yu, Shan Tung Tu, Jinyue Yan, dan Erik Dahlquist. 2010. *Syntesis Of Biodiesel from Vetgetanle Oil with Methanol Catalyzed by Li-Doped Magnesium Oxide Catalysts*. Applied Energy. Vol 87. Hal. 743-748.
- Xu, Chunli, Dan I. Enache, Rhys Lloyd, David W. Knight, Jonathan K. Bartley, dan Graham J. Hutchings. 2010. *MgO Catalysed Triglyceride Transesterification for Biodiesel Synthesis*. Catal Lett. Vol. 138. Hal. 1-7.
- Yacob, Abdul Rahim, Mohd. Khairul, dan Nur Syazeila. 2009. *Calcination Temperature of Nano MgO Effect on Base Transesterification of Palm Oil*. World Academy of Science, Engineering Technology. Vol. 56. Hal. 408-412.